



Munich Personal RePEc Archive

## **Regulation of a duopoly and environmental R&D**

Ben Youssef, Slim and Dinar, Zeineb

Ecole Supérieure de Commerce de Tunis, Faculté des  
Sciences Economiques et de Gestion de Tunis

May 2009

Online at <http://mpa.ub.uni-muenchen.de/22385/>  
MPRA Paper No. 22385, posted 28. April 2010 / 20:11

# Régulation d'un Duopole et R&D Environnementale

**Slim Ben Youssef**

Ecole Supérieure de Commerce de Tunis  
Campus Universitaire, Manouba 2010, Tunisie

slim.benyoussef@gnet.tn

Téléphone : (00216) 97 363596

**Zeineb Dinar**

Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Tunis  
Campus Universitaire, El Manar II, Tunis 2092, Tunisie

dinarzeineb@yahoo.fr

*Première version: Mai 2009*

*Cette version: Mars 2010*

**Résumé:** On développe un modèle de jeu à trois étapes composé d'un régulateur et de deux firmes. Ces firmes sont en concurrence sur le même marché où elles offrent le même bien homogène, et peuvent investir en R&D pour baisser leur ratio d'émission/production. Au moyen d'une taxe par unité d'émission et d'une subvention par unité de niveau de R&D, le régulateur peut induire l'optimum de premier ordre.

**Abstract:** We develop a three stage game model composed of a regulator and two firms. These firms compete on the same market where they offer the same homogeneous good, and can invest in R&D to lower their emission/output ratio. By means of a tax per-unit of pollution and a subsidy per-unit of R&D level, the regulator can induce the first best outcome.

**Mots-clé:** Duopole; Taxe d'émission; Subvention de R&D; Optimum de Premier Ordre.

**Classifications JEL:** C72; D62; H21; O32.

## 1. Introduction

L'environnement subit une dégradation de plus en plus visible due à l'activité humaine et notamment industrielle. Vu que le marché ne peut internaliser ces dommages causés à l'environnement, l'intervention de l'Etat (régulateur) est nécessaire. Différents instruments de régulation sont utilisés dont nous citons les taxes d'émission, les standards, les permis d'émission et les subventions de R&D. La stratégie d'encouragement au développement et à la diffusion de technologies plus propres joue un rôle très important puisqu'elle permet de moins polluer sans entraver la croissance économique.

Milliman et Prince (1989) ont considéré une industrie compétitive formée de firmes identiques et ont évalué les effets incitatifs, pour promouvoir le développement technologique dans le contrôle de la pollution, de cinq instruments de politique environnementale qui sont: le contrôle direct, les subventions à l'émission, les taxes d'émission, les marchés libres de permis d'émission et les marchés de permis d'émission aux enchères. Ils ont montré que les taxes d'émission et les permis aux enchères donnent le plus d'incitations aux firmes pour opérer un changement technologique. Jung, Krutilla et Boyd (1996) ont étendu cette approche comparative à une industrie hétérogène. Stranlund (1997) a étudié l'aide publique pour encourager les firmes à adopter des technologies de contrôle de la pollution. L'aide publique réduit l'effort nécessaire aux firmes pour se conformer aux réglementations environnementales. La politique d'aide est plus attractive lorsque le 'monitoring' est difficile à cause des émissions qui ne sont pas mesurées facilement à l'instar des problèmes de pollution non ponctuelle. En conséquence, cette politique réduit les coûts de conformité des firmes régulées et peut stimuler le progrès technique de contrôle de la pollution.

Farzin et Kort (2000) ont étudié la régulation d'une firme compétitive et ont examiné l'effet d'un plus grand taux de taxation sur l'investissement en réduction de la pollution, aussi bien lorsqu'il y a certitude parfaite ou lorsque la date ou le taux d'augmentation de la taxe est incertain. Ils ont montré la possibilité qu'un taux de taxation plus grand induit plus de pollution et qu'une menace crédible pour

accélérer l'augmentation de la taxe peut mener à plus d'investissement en réduction de pollution. Fischer et Newell (2008) ont montré comment la nature du progrès technologique à travers l'apprentissage et la R&D, ainsi que le degré de transfert de la connaissance, affectent le choix de la politique de régulation.

En utilisant un modèle de jeu à deux étapes, D'Aspremont et Jacquemin (1988, 1990) ont examiné les effets du comportement d'un duopole en situation de non coopération et de coopération en R&D en présence d'externalité positive de R&D. Ben Youssef (2009) a considéré un jeu non-coopératif et symétrique à trois étapes constitué par deux hiérarchies régulateur-firme. Il a montré que les externalités positives de R&D et la compétition des firmes sur le marché commun aident les pays non coopératifs à mieux internaliser la pollution transfrontière. Plus intéressant, la compétition internationale augmente la taxe par unité d'émission et diminue la subvention par unité de niveau de R&D.

Ce modèle diffère de celui de Ben Youssef (2009) par le fait que dans le présent papier on a un seul régulateur et un duopole, qu'il n'y a pas d'externalité de R&D entre les firmes et pas de pollution transfrontière.

On considère un modèle de jeu à trois étapes composé d'un régulateur et de deux firmes. Ces firmes sont en concurrence sur le même marché où elles offrent le même bien homogène. Leur activité de production génère de la pollution. Ces firmes peuvent investir en R&D pour baisser leur ratio d'émission/production. Etant donné que les deux firmes constituent un duopole et que leur activité est polluante, l'intervention du régulateur est nécessaire. Ce dernier utilise deux instruments de régulation qu'il annonce à la première étape du jeu : une taxe par unité d'émission et une subvention par unité de niveau de R&D. Les firmes réagissent en investissant en R&D à la deuxième étape, et en écoulant leur production à la troisième étape. Ce jeu est résolu par la méthode d'induction rétroactive (*backward induction*) de manière à obtenir un équilibre de Nash parfait.

Nous montrons que le régulateur peut induire les deux firmes à atteindre les niveaux de production et de R&D socialement optimaux, au moyen des deux instruments de régulation qui sont une taxe par unité d'émission et une subvention par unité de niveau de R&D.

Le papier a la structure suivante. Dans la section 2, nous introduisons le modèle. La section 3 étudie la réaction des firmes, la section 4 dégage la taxe d'émission et la subvention de R&D socialement optimales, et la section 5 conclue.

## 2. Le modèle

On considère une industrie composée de deux firmes produisant le même bien homogène vendu sur le marché ayant la fonction inverse de demande suivante  $p = a - (q_i + q_j)$ ,  $a > 0$ . Une raison pour la structure de marché que nous adoptons est que les marchés des industries qui s'engagent dans d'importants investissements en R&D sont souvent oligopolistiques.

Puisque les deux firmes constituent un duopole et que leur activité de production est polluante, elles sont régulées. Le régulateur maximise son bien-être social et utilise deux instruments de régulation qu'il annonce à la première étape du jeu:<sup>1</sup> une taxe par unité d'émission de pollution  $t_i$  qui induit les niveaux socialement optimaux de production et de pollution, et une subvention par unité de niveau de R&D  $r_i$  qui induit le niveau de R&D et le ratio d'émission/production socialement optimaux. Les firmes réagissent en investissant en R&D à la deuxième étape, et en écoulant leur production sur le marché à la troisième étape. Ce jeu à trois étapes est résolu par rétroduction de manière à obtenir un équilibre de Nash parfait.

L'activité de production des firmes génère de la pollution et ces dernières peuvent investir en R&D pour baisser leur ratio fixe émission/production. Le niveau  $x_i$  de R&D coûte  $kx_i^2$ ,  $k > 0$ .

En normalisant l'émission par unité de production à un sans innovation, le ratio émission/production de la firme  $i$  est  $e_i = 1 - x_i$ , et l'émission de sa pollution

---

<sup>1</sup> Ces deux instruments sont nécessaires dans ce modèle. En effet, même si le niveau socialement optimal de pollution peut être induit uniquement par un seul instrument, tel que les permis d'émissions, il n'y a aucune incitation aux firmes d'atteindre les niveaux socialement optimaux de production et de R&D.

est  $E_i = (1 - x_i)q_i$ . Ainsi, nous supposons qu'il n'y a pas d'externalité positive de R&D entre les firmes.

Le dommage causé par la firme  $i$  est  $D_i = \alpha E_i$ , où  $\alpha > 0$  est le dommage marginal de la pollution.

Le coût marginal de production de chaque firme est  $\theta > 0$ . Le profit de la firme  $i$  est  $\Pi_i = p(q_i, q_j)q_i - \theta q_i - kx_i^2$ , et son profit net des taxes et des subventions est  $V_i = \Pi_i - t_i E_i + r_i x_i$ .

Le surplus des consommateurs engendré par la consommation de  $Q = q_i + q_j$  est:

$$CS = \int_0^{q_i+q_j} p(u)du - p(q_i, q_j)(q_i + q_j) = \frac{1}{2}(q_i + q_j)^2$$

Le bien-être social est égal au bien-être des consommateurs plus les profits nets des deux firmes. Après simplifications, il devient égal au surplus des consommateurs moins les dommages plus les profits des deux firmes :

$$S(q_i, q_j, x_i, x_j) = CS - D_i - D_j + \Pi_i + \Pi_j \quad (1)$$

Nous remarquons que les taxes et les subventions n'apparaissent pas dans la fonction de bien-être social car la taxe diminuée du profit de chaque firme est ajoutée au bien-être des consommateurs, et la subvention ajoutée au profit de chaque firme est diminuée du bien-être des consommateurs.

### 3. La réaction des firmes

Etant données les taxes d'émission et les subventions de R&D  $(t_i, r_i), i = 1, 2$ , annoncées par le régulateur à la première étape, chaque firme réagit en choisissant ses niveaux optimaux d'innovation et de production dans les étapes deux et trois, respectivement. Puisque le régulateur va chercher uniquement les équilibres symétriques,<sup>2</sup> il annonce à la première étape le couple  $(t, r)$ . Par la méthode d'induction rétroactive, dans la troisième étape, la firme maximise son profit net par

---

<sup>2</sup>Nous cherchons les équilibres symétriques car le modèle est symétrique et les calculs sont plus faciles.

rapport à son niveau de production, et dans la deuxième étape, elle maximise son profit net par rapport à son niveau de R&D.

Les conditions de premier ordre de la troisième étape pour les firmes sont :

$$\frac{\partial V_i}{\partial q_i} = \frac{\partial V_j}{\partial q_j} = 0 \quad (2)$$

La résolution du système (2) donne :

$$q_i^* = \frac{1}{3} [a - \theta - t(1 - 2x_i + x_j)] \quad (3)$$

Nous en déduisons que :

$$\frac{\partial q_i^*}{\partial x_i} = \frac{2}{3}t, \quad \frac{\partial q_i^*}{\partial x_j} = -\frac{t}{3}$$

Lorsque la taxe d'émission est positive; si la firme  $i$  augmente son niveau de R&D, alors son ratio d'émission diminue ce qui lui permet d'augmenter son niveau de production, et incite ainsi la firme concurrente à diminuer sa production.

L'expression symétrique de (3) est :

$$q^* = \frac{1}{3} [a - \theta - t(1 - x)] \quad (4)$$

La condition de premier ordre de la deuxième étape de la firme  $i$  est:

$$\frac{dV_i}{dx_i} = \frac{\partial q_i^*}{\partial x_i} \frac{\partial V_i}{\partial q_i} + \frac{\partial q_j^*}{\partial x_i} \frac{\partial V_i}{\partial q_j} + \frac{\partial V_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5)$$

A l'équilibre, en utilisant (2), l'équation (5) est simplifiée, et en utilisant (3) pour les dérivées partielles puis (4), sa solution symétrique<sup>3</sup> est:

$$x^* = \frac{4t(a - \theta - t) + 9r}{18k - 4t^2} \quad (6)$$

La condition de second ordre de la deuxième étape est vérifiée ssi:

$$k > \frac{4}{9}t^2 \quad (7)$$

On montrera plus loin que  $\lim_{k \rightarrow +\infty} t$  est un nombre fini. Ainsi, la condition ci-dessus est vérifiée pour  $k$  suffisamment grand par rapport à  $a$ ,  $\theta$  et  $\alpha$ .

---

<sup>3</sup> Comme on l'expliquera à la section suivante, la résolution rétroactive du jeu est arrêtée à la deuxième étape. Pour cette raison, on a le droit de chercher les équilibres symétriques à cette deuxième étape.

#### 4. La taxe d'émission et la subvention de R&D socialement optimales

A la première étape, en utilisant les expressions des niveaux de production et de R&D optimales pour les firmes déterminées à la troisième et deuxième étape, le régulateur maximise son bien-être social donné par (1) par rapport à  $t$  et  $r$ . Cependant, cette méthode directe n'est pas du tout facile à réaliser. Ainsi, nous allons utiliser une méthode beaucoup plus simple. En effet, le régulateur va choisir les quantités de production et de R&D socialement optimales à la troisième et deuxième étape, respectivement. Après, en égalisant les quantités socialement optimales obtenues à celles optimales pour les firmes, il déterminera la taxe d'émission et la subvention de R&D socialement optimales. En fait, le modèle est résolu comme si c'était un jeu à deux étapes.

Puisque le régulateur va chercher uniquement les équilibres symétriques, la fonction de bien-être social donnée par (1) est réécrite comme  $S(q, x)$ .

La condition de premier ordre de la troisième étape du régulateur est :

$$\frac{\partial S}{\partial q} = 0 \quad (8)$$

La résolution de l'équation (8) donne :

$$\hat{q} = \frac{1}{2}(a - \theta - \alpha + \alpha x) \quad (9)$$

La condition de premier ordre de la deuxième étape du régulateur est:<sup>4</sup>

$$\frac{dS}{dx} = \frac{\partial \hat{q}}{\partial x} \frac{\partial S}{\partial q} + \frac{\partial S}{\partial x} = 0 \quad (10)$$

En utilisant (8), l'équation (10) est simplifiée. En utilisant (9), la solution de (10) est:

$$\hat{x} = \frac{\alpha(a - \theta - \alpha)}{4k - \alpha^2} \quad (11)$$

Le niveau de R&D socialement optimal est positif lorsque  $k$  est suffisamment grand et la condition suivante est vérifiée :

$$\alpha < a - \theta \quad (12)$$

---

<sup>4</sup> La condition de second ordre est vérifiée pour  $k$  suffisamment grand ( $k > \alpha^2 / 4$ ).



Ainsi, le coût du dommage marginal doit être inférieur au prix maximum que les consommateurs sont disposés à payer pour le bien produit par les firmes diminué du coût marginal de production.

En égalisant le niveau de production choisi par les firmes donné par (4) et le niveau de production socialement optimal donné par (9), on détermine la taxe d'émission socialement optimale:

$$t = \frac{a - \theta - 3\hat{q}}{1 - \hat{x}} \quad (13)$$

Aussi, en égalisant le niveau de R&D choisi par les firmes donné par (6) et le niveau de R&D socialement optimal donné par (11), on obtient la subvention socialement optimale :

$$r = \frac{1}{9} \left[ (18k - 4t^2) \hat{x} - 4t(a - \theta - t) \right] \quad (14)$$

Nous pouvons alors énoncer le principal résultat de ce papier:

**Proposition.** *Le régulateur peut induire les deux firmes à atteindre les niveaux socialement optimaux de production et de R&D au moyen d'une taxe par unité d'émission et d'une subvention par unité de niveau de R&D.*

En utilisant (9), (11) et (13), on obtient:

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} t = \frac{1}{2} [3\alpha - (a - \theta)] \quad (15)$$

Nous en déduisons que :

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} t < 0 \Leftrightarrow \alpha < \frac{a - \theta}{3} \quad (16)$$

Considérons le cas où  $k$  est suffisamment grand. Ainsi, lorsque  $\alpha$  est assez grand, la taxe d'émission est positive alors que si  $\alpha$  est assez faible, la taxe d'émission est négative ce qui signifie que le régulateur subventionne la pollution (ou la production puisqu'elles sont proportionnelles). En effet, lorsque la désutilité marginale de la pollution n'est pas très importante, le régulateur subventionne la pollution pour corriger la distorsion duopolistique.

En utilisant (11), (14) et (15), on a:

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} r = \frac{1}{3}(a - \theta - \alpha) \left[ (a - \theta) - \frac{3}{2}\alpha \right] \quad (17)$$

On en déduit que:

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} r < 0 \Leftrightarrow \alpha > \frac{2}{3}(a - \theta) \quad (18)$$

Prenons le cas où  $k$  est assez grand. Ainsi, lorsque le dommage marginal de la pollution est suffisamment grand, la taxe d'émission est positive ce qui peut inciter les firmes à surinvestir en R&D par rapport à ce qui est socialement optimal; pour corriger cela, le régulateur va réellement taxer l'investissement en recherche. Par contre, lorsque la désutilité marginale de la pollution est suffisamment faible, la taxe d'émission est négative signifiant que le régulateur subventionne la pollution ce qui peut inciter les firmes à sous investir en R&D; pour remédier à cela, le régulateur va subventionner l'investissement en R&D.

Notons que la condition (12) et  $k$  suffisamment grand par rapport à  $a$ ,  $\theta$  et  $\alpha$  assurent que les quantités optimales de production, de R&D et de pollution sont strictement positives.

## 5. Conclusion

Nous avons développé un modèle de jeu à trois étapes composé d'un régulateur et de deux firmes. Ces firmes sont en concurrence sur le même marché où elles offrent le même bien homogène, et peuvent investir en R&D pour baisser leur ratio d'émission/production. Etant donné que les deux firmes constituent un duopole et que leur activité est polluante, le régulateur impose à la première étape deux instruments de régulation qui sont : une taxe par unité d'émission et une subvention par unité de niveau de R&D. les firmes réagissent en choisissant les niveaux optimaux de R&D et de production respectivement à la deuxième et troisième étape. Le jeu est résolu par rétroduction pour aboutir à un équilibre de Nash parfait.

Nous avons montré qu'au moyen d'une taxe par unité d'émission et d'une subvention par unité de niveau de R&D, le régulateur peut réaliser l'optimum de

premier ordre puisqu'il induit les firmes à atteindre les niveaux de production et de R&D socialement optimaux.

Nous avons supposé qu'il n'y a pas d'externalité de R&D entre les firmes. L'introduction d'externalités aussi bien gratuites que coûteuses est étudiée dans Ben Youssef et Zaccour (2009).

Enfin, il serait intéressant d'étendre ce modèle au cas d'un oligopole ou lorsque les firmes détiennent une information privée concernant leur coût de production et/ou de R&D.

## Références

- Ben Youssef, S., 2009, "Transboundary Pollution, R&D Spillovers and International Trade", *The Annals of Regional Science*, 43, 235-250.
- Ben Youssef, S. et G. Zaccour, 2009, "Absorptive Capacity, R&D Spillovers, Emissions Taxes and R&D Subsidies", HEC Montréal: Les Cahiers du GERAD No. G-2009-41, MPRA Paper No. 16984.
- D'Aspremont, C. et A. Jacquemin, 1988, "Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillovers", *The American Economic Review*, 78, 1133-1137.
- D'Aspremont, C. et A. Jacquemin, 1990, "Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillovers: Erratum", *The American Economic Review*, 80, 641-642.
- Farzin, Y.H. et P.M. Kort, 2000, "Pollution Abatement Investment when Environmental Regulation is Uncertain", *Journal of Public Economic Theory*, 2, 183-212.
- Fischer, C. et R.G. Newell, 2008, "Environmental and Technology Policies for Climate Mitigation", *Journal of Environmental Economics and Management*, 55, 142-162.
- Jung, C., K. Krutilla et R. Boyd, 1996, "Incentives for Advanced Pollution Abatement Technology at the Industry Level: an Evaluation of Policy Alternatives", *Journal of Environmental Economics and Management*, 30, 95-111.
- Milliman, S.R. et R. Prince, 1989, "Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control", *Journal of Environmental Economics and Management*, 17, 247-265.

Stranlund, J.K., 1997, "Public Technological Aid to Support Compliance to Environmental Standards", *Journal of Environmental Economics and Management*, 34, 228-239.